

6

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①① N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 592 749

②① N° d'enregistrement national :

86 00212

⑤① Int Cl<sup>4</sup> : H 03 K 17/292, 17/08.

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 9 janvier 1986.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 28 du 10 juillet 1987.

⑥① Références à d'autres documents nationaux appa-  
rantes :

⑦① Demandeur(s) : CELDUC, *Forme juridique : Société  
Anonyme et INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES SUR  
LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE (I.N.R.E.T.S.),  
Forme juridique : Etablissement public à caractère scien-  
tifique et technologique. — FR.*

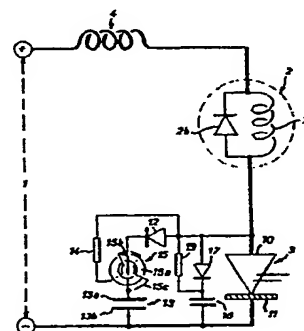
⑦② Inventeur(s) : Jean-Pierre Pascal.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Bonnet-Thirion, G. Foldés.

⑤④ Circuit calmeur pour interrupteur statique commandé.

⑤⑦ Le circuit calmeur, destiné à ralentir la remontée de tension aux bornes du thyristor 3 à gâchette bloquante, monté en série avec une charge 2 telle qu'un enroulement de moteur, équipée d'une diode de roue libre 2b est branché entre anode 10 et cathode 11 du thyristor 3. Il comprend une diode 12 passante de l'anode 10 à une première armature 13a d'un condensateur 13 dont la seconde armature 13b est la cathode 11, une résistance de décharge 14 en parallèle avec la diode 12. Il comprend en outre, entre diode 12 et première armature 13a une inductance 15 à noyau magnétique fermé, saturée par le courant de décharge du condensateur 13 à travers la résistance 14. La désaturation de l'inductance 15 lorsque la diode 12 devient bloquante neutralise les surtensions de résonance induites par le blocage de la diode 12.



FR 2 592 749 - A1

"Circuit calmeur pour interrupteur statique commandé"

L'invention se rapporte à un circuit calmeur, destiné à ralentir la remontée de tension aux bornes d'un interrupteur statique commandé tel que thyristor à gâchette bloquante en série avec une charge à impédance complexe, notamment enroulement de moteur, équipée d'une diode de roue libre, après coupure du courant qui la traverse en période de conduction, circuit disposé entre anode et cathode du thyristor et comprenant une diode passante de l'anode du thyristor à une première armature d'un condensateur dont la seconde armature est reliée à la cathode du thyristor, et une résistance de décharge en parallèle avec la diode.

Les thyristors à gâchette bloquante, dits souvent GTO, sont des thyristors dont le courant de conduction peut, comme s'il s'agissait d'un transistor, être interrompu par application d'un signal sur la gâchette, pour vider la jonction de contrôle et recombinaison des porteurs minoritaires. Les thyristors sont susceptibles de supporter sans conduire la tension de source, à travers la charge, lorsque le processus d'extinction est achevé, et la jonction de contrôle étant sensiblement vide de porteurs minoritaires. Mais ceci implique que la remontée de tension à la coupure de la conduction ne soit pas trop rapide.

La charge dont le thyristor à gâchette bloquante pilote le courant traversant, présente une inductance notable ; c'est le cas notamment d'un enroulement de moteur, dont l'inductance propre vient en combinaison avec les réactions d'inertie des masses tournantes. Pour éviter que la tension sur l'anode du thyristor dépasse la tension de source la charge est équipée d'une diode, dite de roue libre.

Les circuits calmeurs, dont la structure a été définie plus haut, viennent ralentir la remontée de tension aux bornes du thyristor, le courant traversant la charge venant charger le condensateur à travers la diode passante.

Si l'on admet que le courant à travers la charge est constant pendant le processus d'extinction du thyristor, la vitesse de montée de tension aux bornes du thyristor est la vitesse de charge du condensateur, quotient de l'intensité  
5 de charge par la capacité du condensateur. Lorsque la tension entre armatures du condensateur atteint la tension de source, la diode de roue libre devient conductrice et la diode du circuit calmeur devient bloquante.

Bien entendu, la résistance de décharge en parallèle  
10 sur la diode est telle que la capacité se décharge pendant les périodes de conduction. La constante de temps résultante doit être nettement inférieure à la période de conduction la plus brève.

Lorsque la puissance commandée par des thyristors à  
15 gâchette bloquante s'accroît, les tensions et courant croissent. Le condensateur de circuit calmeur doit croître en capacité, déjà pour maintenir une vitesse de montée constante avec un courant plus élevé : mais la capacité doit croître également pour réduire la vitesse de montée de  
20 tension aux bornes des thyristors adaptés à supporter des tensions accrues.

Les circuits calmeurs classiques deviennent insuffisants lorsque les puissances commutées par des thyristors à gâchette bloquante atteignent un certain  
25 niveau. En effet, l'inductance de la boucle physique formée par le thyristor, la diode et le condensateur avec leur connexion, donne lieu à des surtensions non négligeables en réponse aux variations de courant dans cette boucle, en raison des intensités mises en jeu.

30 Les variations de courant sont particulièrement importantes en fin de charge du condensateur, lorsque la diode devient bloquante. Les variations de courant sont particulièrement importantes en fin de charge du condensateur, lorsque la diode devient bloquante, après  
35 avoir laissé passer en inverse une certaine charge de recouvrement. L'utilisation de diodes à transition brutale entre l'état passant et l'état bloquant, qui est inévitable

lorsque la tension dépasse 1 000 V, conduit à la création de surtensions aux bornes du thyristor, particulièrement dangereuses si le processus d'extinction du thyristor n'est pas achevé.

5 L'invention a pour objet un circuit calmeur efficace en commutation de puissance accrue par des thyristors à gâchette bloquante.

Dans ce but l'invention propose un circuit calmeur, destiné à ralentir la remontée de tension aux bornes d'un  
10 interrupteur statique commandé tel que thyristor à gâchette bloquante en série avec une charge à impédance complexe, notamment enroulement de moteur, après coupure du courant qui le traverse en période de conduction, circuit disposé entre anode et cathode du thyristor et comprenant une diode  
15 passante de l'anode à une première armature d'un condensateur dont la seconde armature est reliée à la cathode du thyristor, et une résistance de décharge reliant la première armature du condensateur à l'anode du thyristor, caractérisé en ce qu'une inductance à noyau magnétique fermé  
20 saturable est disposée en série avec la diode et comporte un enroulement auxiliaire branché entre cette première armature et la résistance de décharge en sorte d'être saturée par le courant de décharge du condensateur en période de conduction du thyristor.

25 Mais en fin de charge, lorsque le courant décroît et s'inverse, l'inductance se désature pour prolonger la durée de décroissance du courant inverse : l'association diode, inductance en désaturation se comporte comme une diode à transition progressive entre états passant et bloquant, sans  
30 que la transition progressive entraîne des pertes dans la diode.

En disposition préférée on associe au circuit calmeur précédent un circuit calmeur classique, avec un condensateur de capacité plus faible que celle du condensateur du circuit  
35 à inductance saturée, d'au moins un ordre de grandeur. Ce circuit calmeur agit essentiellement en début du processus d'extinction, en raison de sa plus grande rapidité de réaction.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'ailleurs de façon plus détaillée de la description qui va suivre, à titre d'exemple, en référence à la figure unique annexée.

5        Selon la forme de réalisation choisie et représentée, une charge 2 est alimentée par une source de tension continue 1, à travers un thyristor à gâchette bloquante 3. Une inductance de choc 4, en série avec la charge 2 du côté du pôle positif de la source est prévue pour améliorer la  
10 commutation du thyristor 3 à la fermeture.

La charge 2 est symbolisée par une inductance 2a, et est équipée d'une diode dite de roue libre 2b, prévue pour interdire l'apparition de tensions inverses sur la charge 2.

On n'a pas représenté les circuits de gâchette du  
15 thyristor, et qui n'interviennent pas de façon spécifique dans l'invention. Il suffit de rappeler que les circuits de gâchette sont adaptés à amorcer le thyristor 3 à un instant déterminé, et à provoquer son extinction après une période de conduction.

20        Entre anode 10 et cathode 11 du thyristor 3 à gâchette bloquante, on a disposé un circuit calmeur principal composé d'une diode 12 montée passante de l'anode 10 vers une première armature 13a d'un condensateur 13, dont la seconde armature 13b est reliée à la cathode 11 du  
25 thyristor 3, et d'une inductance 15 dans son ensemble disposée entre la diode 12 et le condensateur 13. L'inductance 15 comporte un noyau magnétique torique fermé 15a réalisé en un matériau magnétique à cycle rectangulaire et faible perte, telle une ferrite, un enroulement primaire  
30 15b qui est un conducteur droit traversant l'ouverture centrale du noyau, qui relie la diode 12 à la première armature 13a du condensateur 13, et un enroulement secondaire de quelques spires 15c relié à une extrémité à la première armature 13a du condensateur 13, et à l'autre  
35 extrémité à une résistance 14, branchée entre cette autre extrémité et l'anode 10 du thyristor 3.

Le sens des enroulements de l'inductance, et les dimensions des différents éléments qui le constituent sont tels que le courant de décharge du condensateur 13, traversant l'enroulement secondaire 15<sub>c</sub> et la résistance 14  
5 lors d'une période de conduction du thyristor 3, après que le condensateur 13 ait été chargé à la tension de source porte à saturation le noyau 15 dans le sens qui correspond à la saturation de ce noyau par le courant, traversant le primaire 15<sub>b</sub> qui charge le condensateur 13 pour porter sa  
10 première armature 13<sub>a</sub> au potentiel du pôle positif de la source 1.

Le circuit calmeur fonctionne comme suit.

A l'origine du processus d'extinction du thyristor 3, précédant immédiatement l'application à la gâchette d'un  
15 signal de commande d'extinction, l'anode 10 du thyristor 3 est au potentiel de la cathode 11, à la chute de tension interne près, et pratiquement la totalité de la tension de source 1 est appliquée à la charge 2. Le condensateur 13 est presque déchargé et l'armature 13<sub>a</sub> est à un potentiel de peu  
20 supérieur à celui de l'armature 13<sub>b</sub>, mais cependant le courant de décharge à travers l'enroulement secondaire 15<sub>c</sub> et la résistance 14 a placé le noyau 15<sub>a</sub> à l'état de saturation. La diode 12 est bloquée.

Lorsque le signal appliqué à la gâchette provoque  
25 l'annulation du courant dans le thyristor 3, le potentiel de l'anode 10 commence à croître, la diode 12 devient passante et le courant dans la charge 2 étant dérivé à travers la diode 12, le condensateur 13 commence à se charger : l'inductance 15 reste saturée. Le potentiel d'anode 10  
30 remonte progressivement, l'anode 10 et la première armature 13<sub>a</sub> du condensateur 13 restant sensiblement équipotentielles à la chute de tension dans la diode 12 près.

La vitesse de montée de tension est égale au quotient du courant dans la charge 2 par la capacité du condensateur  
35 13, et l'on a calculé précisément la capacité du condensateur 13, à partir du courant maximal dans la charge, pour que la vitesse de remontée de tension soit compatible

avec le processus d'extinction du thyristor 3.

Lorsque les potentiels conjoints de la première armature 13a du condensateur 13 et de l'anode 10 du thyristor 3 atteignent celui du pôle positif de la source 1, la diode de roue libre 2b devient conductrice et la tension aux bornes de la charge s'annule. L'inductance 4 résonne alors avec la capacité 13, pour un quart de période. Pendant ce quart de période le courant de charge du condensateur 13 décroît jusqu'à zéro et la diode 12 cesse de conduire. Le potentiel de l'anode 10 du thyristor 3 retombe à celui du pôle positif de la source.

Si l'interruption du courant de charge du condensateur 13, par l'action de la diode 12, est trop brutale, l'inductance de la boucle fermée par les connexions du circuit calmeur au thyristor provoque une surtension avec des flancs abrupts. Le jeu de l'inductance 15 vient adoucir l'interruption du courant dans la boucle. En effet, lorsque le courant de charge du condensateur 13 décroît et s'inverse, l'inductance 15a se désature et provoque une surtension qui tend à maintenir le courant de charge. L'interaction entre la désaturation provoquée par la réduction du courant de charge, et la surtension résultante fonction de la vitesse de réduction du courant réduit la vitesse de décroissance du courant au voisinage de l'annulation. En conséquence, la surtension due à l'inductance de boucle des connexions du circuit calmeur au thyristor est ramenée à une valeur raisonnable.

Mais le fonctionnement du circuit calmeur précédent est insuffisant dans les premiers instants du processus d'extinction. Notamment la saturation complète de l'inductance 15 exigerait que la capacité 13 ne soit pas entièrement déchargée au début du processus d'extinction. On remédie à ceci en disposant un circuit calmeur classique, formé d'une diode 17, un condensateur 18 et une résistance de décharge 19, entre anode 10 et cathode 11 du thyristor 3.

Le condensateur 18 présente une capacité d'au moins un ordre de grandeur plus faible que celle du condensateur

13. La diode 17 est à commutation rapide. La résistance 19 présente une valeur telle que le condensateur 18 soit efficacement déchargé dans la période de conduction la plus courte prévue. Ce circuit calmeur va entrer en action dès le début du processus d'extinction. Alors que le circuit calmeur principal entre en action à son tour, le circuit calmeur auxiliaire devient à peu près inactif, notamment parce que la vitesse de montée de tension sera déterminée par la capacité du condensateur 13 pour l'essentiel.

10 Bien entendu l'invention n'est pas limitée à l'exemple décrit, mais embrasse toutes les variantes d'exécution.

Notamment la diode 12 et l'inductance 15 en série peuvent permuter de place, la diode ou l'inductance étant branchée à l'anode 10 du thyristor 3.



REVENDICATIONS

1. Circuit calmeur, destiné à ralentir la remontée de tension aux bornes d'un interrupteur statique commandé tel que thyristor à gâchette bloquante (3) en série avec une charge (2) à impédance complexe, notamment enroulement de moteur, après coupure du courant qui le traverse en période de conduction, circuit disposé entre anode (10) et cathode (11) du thyristor (3) et comprenant une diode (12) passante de l'anode (10) à une première armature (13a) d'un condensateur (13) dont la seconde armature (13b) est reliée à la cathode (11) du thyristor, et une résistance de décharge (14) reliant la première armature (13a) du condensateur à l'anode (10) du thyristor (3), caractérisé en ce qu'une inductance (15) à noyau magnétique (15a) fermé saturable est disposée en série avec la diode (12) et comporte un enroulement auxiliaire (15c) branché entre cette première armature (13a) et la résistance de décharge (14) en sorte d'être saturée par le courant de décharge du condensateur (13) en période de conduction du thyristor (3).

2. Circuit calmeur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un second circuit calmeur entre anode (10) et cathode (11) du thyristor (3), comprenant une seconde diode (17) à coupure rapide, un second condensateur (18) de capacité inférieure d'au moins un ordre de grandeur à celle du condensateur (13) et une seconde résistance de décharge (19).

